

# VI CONGRESO IBÉRICO de AgroIngeniería

5 a 7 de Septiembre | 2011  
Universidade de Évora | Portugal



## REGISTRO Y ANÁLISIS DEL HISTORIAL TERMICO DURANTE EL ALMACENAMIENTO Y EL TRANSPORTE REFRIGERADO DE PRODUCTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS

H. Jiménez-Ariza<sup>1</sup>, J. García-Hierro<sup>2</sup>, B. Diezma<sup>1</sup>, P. Barreiro<sup>1</sup>, E. C. Correa<sup>1,3</sup>, J.I. Robla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LPF-TAGRALIA. Grupo de Investigación. E.T.S.I. Agrónomos. Dpto. Ingeniería Rural. Universidad Politécnica de Madrid España. E-mail: [gi.lpftag@upm.es](mailto:gi.lpftag@upm.es)

<sup>2</sup>Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM). Agencia estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid. España. E-mail: [jrobla@cenim.csic.es](mailto:jrobla@cenim.csic.es)

<sup>3</sup>E.U.I.T.Agrícola. Dpto. Ciencia y tecnología aplicadas. Universidad Politécnica de Madrid. España. E-mail: [evacristina.correa@upm.es](mailto:evacristina.correa@upm.es)

### Resumen

*En este estudio se presenta el análisis de las temperaturas registradas durante el almacenamiento y el transporte refrigerado de un pequeño lote de hortalizas de hoja mínimamente procesadas, monitorizadas mediante tarjetas TurboTag® y sensores inalámbricos Nlaza ubicados en el interior de las bolsas y en diferentes lugares de las cajas de cartón que contienen esas bolsas. El objetivo de este trabajo es generar protocolos de distribución y configuración de sensores y de procesamiento y análisis de los datos para el seguimiento y control continuo de la temperatura durante el transporte de productos refrigerados; se centra en el potencial de la utilización de la sensorica inalámbrica, evaluando la capacidad de los sensores en la obtención de datos y su comunicación, evaluando la cantidad de paquetes perdidos*

**Palabras Clave:** Sensor inalámbrico, Transporte refrigerado, Temperatura.

### Abstract

*This study presents an analysis of the temperatures during storage and refrigerated transport of a small batch of minimally processed leafy vegetables, monitored by TurboTag® cards and wireless sensors Nlaza located inside the bags and in different places cardboard boxes containing the bags. The aim of this paper is to generate distribution protocols and configuration of sensors and processing and analysis of data for continuous monitoring and control of temperature during transport of refrigerated products. It focuses on the potential use of wireless sensor evaluating the ability of the sensor data acquisition and communication, evaluating the packet loss*

**Keywords:** Sensor wireless, Refrigerated transport, Temperature.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos de IV gama, son productos vegetales (frutas, hortalizas, hierbas frescas, etc.) procesados mínimamente en fresco con el fin de aumentar su funcionalidad, sin modificar de forma apreciable sus propiedades originales. Los productos mínimamente procesados en fresco se presentan en bolsas selladas o en bandejas cubiertas con plásticos, con o sin atmósfera modificada para, posteriormente ser almacenados y transportados bajo refrigeración hasta los puntos de venta. El estudio de los gradientes de temperatura en cámaras frigoríficas y contenedores, es un tema crítico en la industria agroalimentaria para el aseguramiento de la calidad de los productos transportados y la minimización de pérdidas (Rodríguez-Bermejo et al, 2007).

Laguerre (2007) dice que el control de temperatura de los productos que deben realizar los fabricantes y distribuidores es fundamental para mantener la calidad del producto hasta su

consumo. Los factores tiempo y temperatura son las variables a manipular, tratando de evitar diferencias entre la temperatura de consigna y la real en el producto. El mantenimiento de la homogeneidad de la temperatura en todo el contenedor supone también un objetivo difícil de conseguir, presentándose frecuentemente zonas frías y calientes en la carga.

Hay etapas en el transporte donde el producto no se encuentra en un ambiente refrigerado, es decir, en los muelles de carga, en los supermercados antes de la carga en los pisos de venta al por menor, en el transporte de la tienda a casa, etc. Es importante realizar un seguimiento de todas las etapas del transporte refrigerado hasta el consumo final, con el fin de establecer los gradientes térmicos en el producto en las etapas donde no se encuentra en un ambiente refrigerado James (2006), es de gran la importancia de evitar momentos de no refrigeración durante el transporte de productos perecederos o de alta actividad de agua, también siendo importante verificar la transmisión de calor entre los materiales de empaque hasta el producto

En el análisis de transporte refrigerado se encuentran menos estudios que los centrados en los propios sistemas de refrigeración, ya que son considerados como iguales. Sin embargo, es importante tener en cuenta la totalidad del historial térmico de transporte del producto, incluyendo otros momentos que pueden afectar al producto y la eficiencia de refrigeración como el de carga y descarga del producto (James, 2006).

Los últimos avances en telefonía móvil con sensores de red inalámbricos (WSN) han llevado al desarrollo de sensores de bajo costo, baja potencia y multifuncionales. Los sensores RFID se ha desarrollado con fines de identificación, pero el interés creciente en las muchas aplicaciones posibles ha llevado al desarrollo de una nueva gama de la tecnología inalámbrica de dispositivos basados en RFID (Ruiz-Altisent et al., 2010).

La principal diferencia entre una WSN y un sistema de RFID es que los dispositivos RFID no tienen capacidades de cooperación, mientras que WSN permiten diferentes topologías de red y la comunicación multihop. Una red multihop es dinámica auto-organizado, con los nodos para establecer y mantener la conectividad de malla entre sí. Se pueden formar (pequeños núcleos individuales) montando en sensores miniaturas que permiten, en un espacio pequeño (2,5 cm x 5 cm x 5 cm), la recopilación de datos no solo de temperatura, sino también de humedad relativa, aceleración, impacto y de luz (Ruiz-García et al., 2009 ).

Ruiz-García, et al (2008) en su trabajo con sensores inalámbricos para la monitorización en transporte de fruta, promueve la utilización de la sensórica inalámbrica para realizar un seguimiento adecuado y bajo condiciones típicas de temperatura y de humedad relativa en la cadena de suministro de frío, afirma que este tipo de sistema se puede utilizar en un almacén, contenedor o vehículo de forma remota. Estos sensores pueden ser colocados en lugares que normalmente no son accesibles para otros sistemas.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

En los estudios se han utilizado dos tipos de sensores: tarjetas TurboTag® como sensores de temperatura y módulos Nlaza como sensores de temperatura y humedad relativa.

Las tarjetas TurboTag®, poseen un sistema de comunicación por frecuencia de radio (RF), tienen una precisión de  $\pm 0,5$  °C y un rango de operación de -55°C a 60°C. Con el tamaño de una tarjeta de crédito poseen una capacidad de almacenamiento es de 702 mediciones e incorporan una batería, siendo posible utilizarla en cualquier lugar sin la restricción de si hay o no electricidad (ver Figura 1).

El software para descargar los datos obtenidos y la configuración de las tarjetas es *Session Manager* de propiedad del fabricante de las tarjetas Sealed Air Corp. La configuración de las tarjetas consiste en establecer comunicación con el software mediante un dispositivo USB con

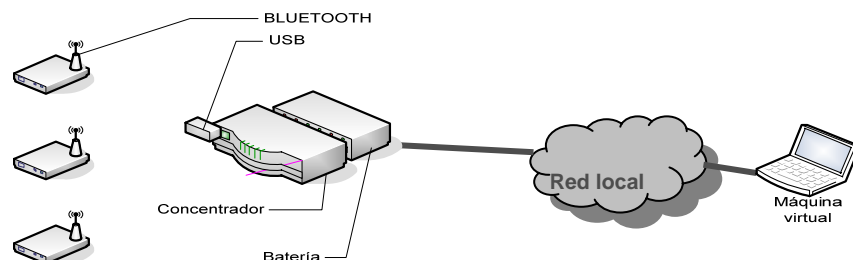
conexión para PC (DR-1) comercializado por la misma empresa. Este dispositivo puede establecer comunicación con la tarjeta a una distancia de 5 cm aproximadamente. No siendo necesario entrar en contacto directo entre el dispositivo lector y la tarjeta.

El software permite realizar la lectura de los datos de las tarjetas, la programación del inicio de lecturas de datos, establecer el tiempo de intervalos entre cada dato, el tiempo de finalización de toma de datos, el límite superior e inferior de temperatura, visualizar gráficos de temperatura respecto del tiempo con límites superiores e inferiores de temperatura (programados por el usuario), dejar apagada la tarjeta en el momento de la lectura ahorrando batería.



**Figura 1.** Sistema de configuración tarjetas Turbotag®

El otro dispositivo de medida utilizado en este trabajo es el módulo Nlaza, que contiene un sensor de temperatura y humedad relativa Sensirion SHT 15, este sensor realiza mediciones de temperatura dentro del rango de -40°C a 125°C y 0% a 100% de humedad relativa. Los Nlaza se comunican con un concentrador por vía inalámbrica (ver Figura 2), facilitando su adaptación en diferentes entornos. Los datos pueden guardarse en una memoria extraíble USB o descargarse en tiempo real vía Ethernet a un ordenador. Para su funcionamiento el concentrador necesita estar enchufado a corriente eléctrica o a una batería y cada módulo necesita 3 pilas AA.



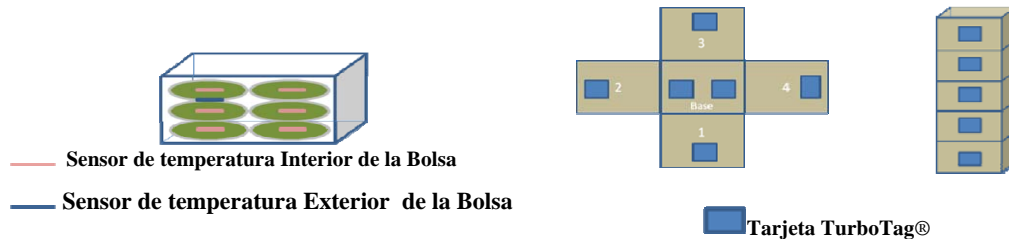
**Figura 2.** Sistema de comunicación de los módulos Nlaza

Se realizaron tres ensayos, dos iniciales que se centraron en efectuar un seguimiento al transporte refrigerado de hortalizas mínimamente procesadas a nivel nacional desde la ciudad de Murcia hasta Madrid (España), y un tercer experimento cuyo objetivo es encontrar los parámetros de relación entre los valores de los sensores de varios módulos Nlaza, para la temperatura y humedad relativa, con el objetivo de poner a punto los sensores buscando el de mejor comportamiento respecto a la histéresis y sirviendo éste como patrón.

## 2.1 Seguimiento de transporte refrigerado I

El primer ensayo se desarrolló con el fin de establecer las diferentes zonas térmicas en el producto, los materiales de empaque y en los diferentes niveles de una pila de cajas de cartón. Se realizaron dos montajes en paralelo para cinco cajas de cartón y las bolsas con las hortalizas mínimamente procesadas. En la Figura 3 se ilustra la disposición del ensayo. Se ha

introducido una tarjeta TurboTag® dentro de 9 bolsas de producto y otra tarjeta entre las bolsas de 4 cajas de producto. En el segundo montaje se seleccionaron cinco cajas de empaque y se instalaron en cada solapa interior de la caja de cartón un sensor de temperatura (6 por caja) y otro sensor en el exterior. Las tarjetas se programaron para realizar un registro de temperatura cada 3 minutos.

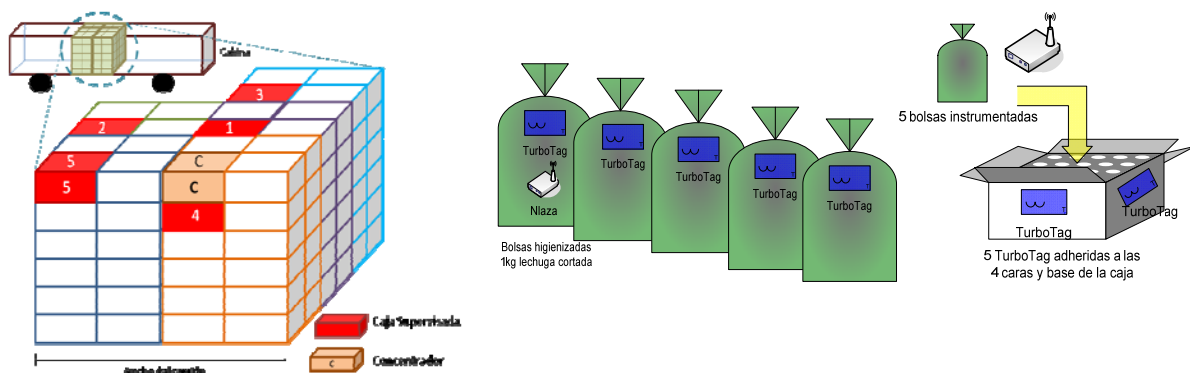


**Figura 3.** Sensores en el interior y entre las bolsas de empaque (izquierda) ; sensores en el interior y exterior cajas de cartón (derecha)

## 2.2 Seguimiento de transporte refrigerado II

El segundo ensayo se centró en evaluar el alcance del sistema de comunicación de los sensores Nlaza durante un transporte refrigerado de hortalizas mínimamente procesadas, comparando los resultados obtenidos con los datos de las tarjetas TurboTag® como sistema de control.

Se ha realizado el ensayo para cinco cajas de cartón, en cada una de ellas había 5 bolsas con producto. Un total de 25 bolsas fueron sensorizadas: en el total de las bolsas se ha introdujo una tarjeta TurboTag®, además se seleccionó una bolsa de cada caja y se introdujo un módulo Nlaza. Las cajas con las bolsas sensorizadas y una sexta caja con el concentrador para la recepción de los datos de los módulos Nlaza, se ubicaron en la parte superior de 5 palés situados en la zona central del camión (ver Figura 4). Los sensores se configuraron para la toma de un dato cada minuto en el caso de los módulos Nlaza y de un dato cada dos minutos para las tarjetas TurboTag®.



**Figura 4.** Ubicación de cajas con sensores en los palés de transporte y la instrumentación dentro de las bolsas

## 2.3 Grafico de Histéresis de sensores Nlaza

El objetivo del tercer ensayo es encontrar los parámetros para una futura calibración del sensor de los módulos Nlaza, para la temperatura y humedad relativa, analizando para ello la respuesta de los sensores en ciclos de refrigeración.

Se colocaron 7 módulos Nlaza dentro del refrigerador para someter a los sensores a ciclos de refrigeración. Llamamos así a la sucesión de efectos de acción y reacción, esto es, los intervalos de encendido (acción) y apagado (reacción) del motor de un refrigerador para

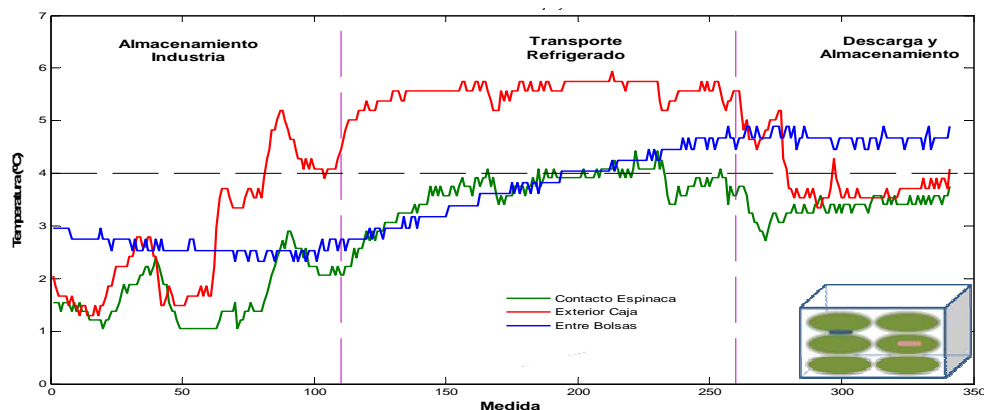
mantener la temperatura y la humedad relativa próximas a los valores de consigna. Los módulos estaban configurados para tomar 1 dato cada minuto.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Seguimiento transporte refrigerado I

En la Figura 5 se representa el comportamiento térmico en las diferentes zonas de tránsito en la cadena de frío del producto, desde su envasado en la industria hasta su descarga en el punto de entrega.

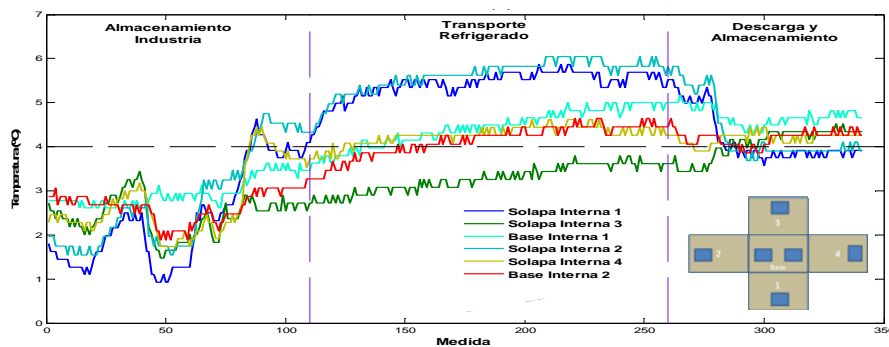
En la zona de transporte refrigerado, se observa que las hortalizas sobrepasan el límite superior del rango de temperaturas establecido por la empresa fabricante de 4°C; la temperatura entre bolsas presenta un aumento progresivo durante el transporte encontrándose en el final de esta etapa a 1.5 °C de la temperatura con respecto al interior de la bolsa.



*Figura 5. Historial térmico del producto de IV gama*

Las zonas que presentan las temperaturas más altas en la Figura 5 son el exterior de la caja y en la Figura 6 son las solapas interiores 1 y 2, siendo muy similares en sus rangos. Se puede deducir que durante el transporte estas zonas se encontraban con cajas alrededor impidiendo el flujo de aire refrigerado, ya que durante la descarga y almacenamiento se agrupan en un rango más estrecho con el resto de los puntos analizados.

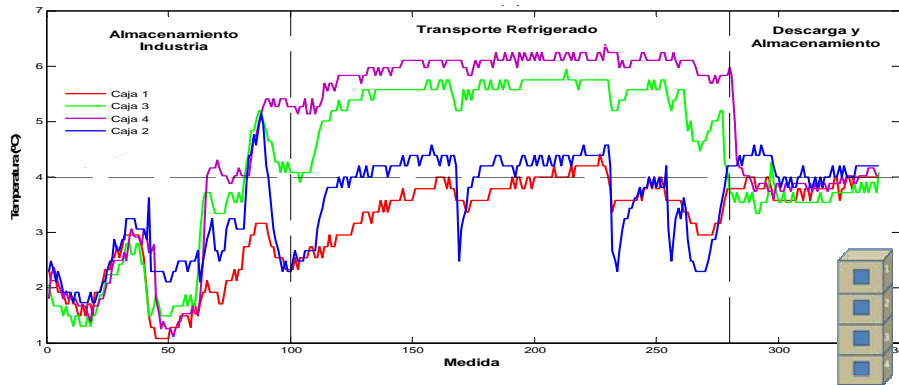
En la Figura 7 se representan los 4 sensores ubicados en el exterior de las cajas, se aprecia que los sensores 1-2 y 3-4 se han agrupado en dos zonas de temperatura extremas, concluyendo que en una pila de cajas de una altura no mayor a 1 metro se pueden encontrar diferencias de temperatura cercanas a los 2 °C.



*Figura 6. Historial térmico en el interior de la caja*

### 3.2 Seguimiento transporte refrigerado II

En la Figura 8 se representan las 25 tarjetas TurboTag® ubicadas dentro de las bolsas, estos sensores registran la temperatura real del producto durante el almacenamiento en cámara y el transporte refrigerado. Los marcados saltos térmicos que algunas de las bolsas experimentan en torno a las 19:00 horas y las 05:00 horas del día siguiente, son debidos a cambios de ubicación de las cajas, siendo el primero el ingreso del producto al camión de transporte y la respectiva descarga en el centro de distribución. Sin embargo, y a pesar de las operaciones de carga y descarga, se observa que dentro de las bolsas el producto no sobrepasa en ningún caso la temperatura consigna de 4°C.



*Figura 7. Historial térmico en el exterior de las cajas*

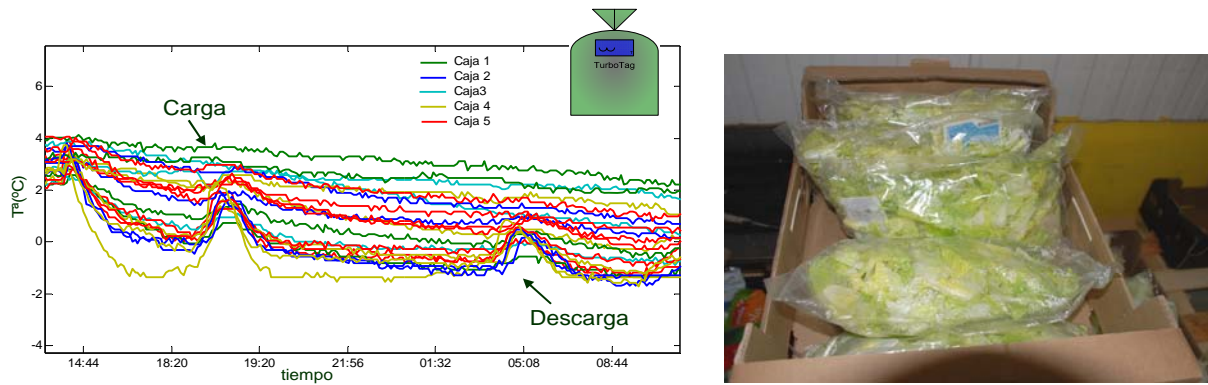
Por otro lado es importante destacar la variabilidad de las temperaturas efectivas de almacenamiento entre bolsas, aún estando dentro de la misma caja. Así la variación de temperaturas registradas a lo largo del periodo bajo estudio alcanza valores absolutos de hasta 6°C, llegando algunas bolsas a permanecer durante varias horas a temperaturas próximas a los -2 °C. Tomando como referencia para la lechuga la temperatura de congelación ( $T_c$ ) de la espinaca -0.55°C (Da Wen Sun), y utilizando como modelo de predicción de la depresión del punto de congelación ( $\Delta T_c$ ) el propuesto por (Chang H.D. and Tao L.C., 1981) para productos hortofrutícolas

$$\Delta T_c = -14.46 + 49.19 X_{agua} - 37.07 X_{agua}^2, \quad (1)$$

Se puede estimar el descenso adicional de temperatura necesario para que una vez alcanzada la  $T_c$  se inicie la nucleación del hielo en los tejidos. Considerando un contenido en agua de la lechuga en tanto por uno de  $X_{agua}=0.902$  (da Wen Sun) sobre peso fresco, el valor estimado para  $\Delta T_c$  será igual a -0.25°C. Esto significa que cuando se alcancen temperaturas inferiores a -0.8°C, se iniciará el cambio de estado del agua y la formación de los cristales de hielo.

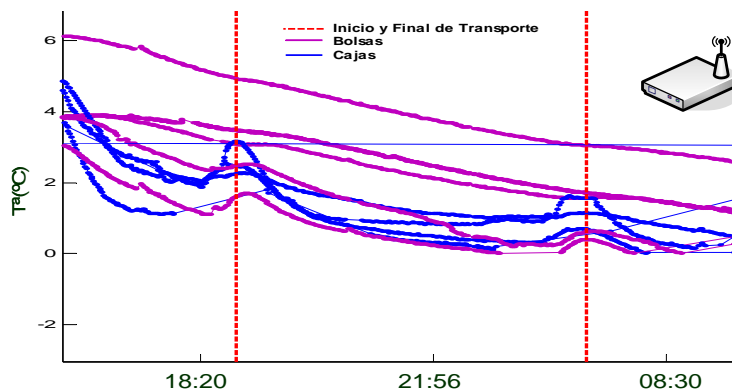
Por tanto, no son previsibles, según los registros de temperatura de las tarjetas TurboTag®, pérdidas de calidad en el producto por rotura de la cadena de frío en el periodo estudiado, pero sí que existe un riesgo real de que se produzcan daños por frío, concretamente por congelación de los tejidos.





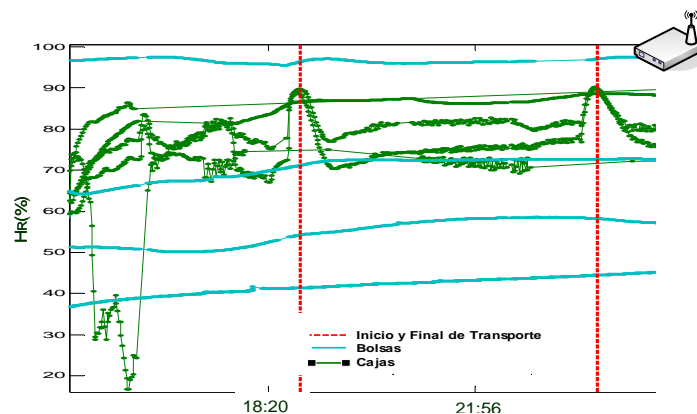
**Figura 8. . Historial térmico en el interior de las bolsas(TurboTag®)**

El ensayo con los sensores Nlaza, en primera instancia, pretendía evaluar el establecimiento de comunicación de los sensores con el concentrador dentro del camión. El 80% de los módulos instalados en las cajas ha funcionado, el fallo presentado en un módulo corresponde al envío de una señal constante en valores cero, por lo cual se ha descartado. Los resultados obtenidos señalan que los 5 módulos instalados dentro de las bolsas han realizado correctamente la comunicación para el envío de datos, indicando el registro de temperaturas obtenido que se mantiene la misma variación de temperaturas efectivas registradas entre bolsas, que alcanzaba valores absolutos de hasta  $6^{\circ}C$ .



**Figura 9. Historial térmico en el interior de las cajas y bolsas sensor(Nlaza)**

En este trabajo las tarjetas TurboTag® han sido consideradas el sensor de control, por lo que se ha planteado realizar una revisión de la medición del sensor Nlaza y generar un protocolo de calibración, lo que constituye el tercer ensayo realizado.



**Figura 10. Historial de % humedad relativa en el interior de las cajas y bolsas sensor(Nlaza)**

En la Figura 10, se visualizan los datos obtenidos de los módulos Nlaza con respecto a la humedad relativa. Si bien los datos registrados por los módulos colocados en las cajas pero fuera de las bolsas, con valores entre el 60% y el 88%, se pueden considerar válidos, los datos obtenidos en el interior de las bolsas parecen erróneos en su mayoría. Dentro de una bolsa con un producto cortado con elevado contenido en agua y a 4°C, es de esperar que la atmósfera interna se encuentre próxima a saturación y sin embargo hay un sensor que está registrando valores del orden del 40% a lo largo del transporte. Se constata por tanto la importancia de disponer de un mínimo encapsulamiento de los sensores que por un lado impida que el sensor quede aislado del ambiente debido a un contacto directo con el producto, en este caso las hojas y pencas, o se produzcan condensaciones indeseadas sobre su superficie.

Con este resultado y el obtenido en relación a la temperatura se desarrolla la metodología de evaluación y calibración del sensor en los módulos Nlaza.

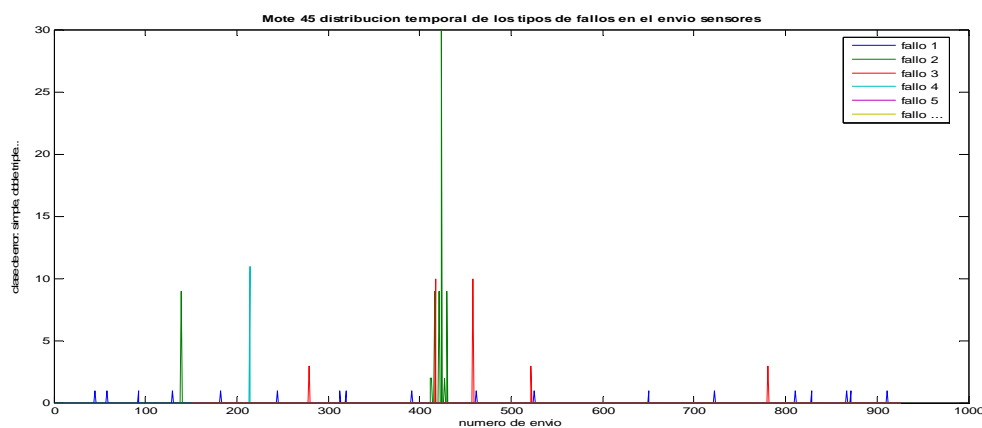
### 3.2.1 Paquetes de datos perdidos

Los módulos Nlaza envían la información al concentrador con la frecuencia que se haya configurado, en nuestro caso cada 60 segundos. Es posible que haya momentos de interferencia y pérdida de datos, cuando el concentrador se aleje de los módulos o agentes externos interfieran en el envío y recepción de los datos.

Después de realizar el ensayo de transporte, se descargó el producto y se almacenó en la cámara fría de la Universidad, se estableció continuar con la adquisición de datos donde las variables de movimientos y desestibado han sido eliminados ya que se encontraban en estado estacionario y sin ninguna interferencia.

Un programa específico de MATLAB desarrollado en el trabajo de Ruiz-García, et al (2008) permite evaluar el porcentaje de paquetes perdidos (%) en la transmisión, para calcular el número de múltiples fallos de origen (fallo 1, fallo 2, fallo 3....etc). Un fallo múltiple de  $m$  mensajes se produce cuando el tiempo transcurrido entre dos mensajes se encuentra entre  $(1,5 \times m \times SR)$  y  $(2,5 \times m \times SR)$ , siendo SR la frecuencia de muestreo.

Por ejemplo, con una SR de 11 s, un fallo tipo 1 ( $m=1$ ) se produce cuando el período de tiempo entre paquetes consecutivos es mayor que 16,5 s ( $1,5 \times 1 \times 11$ ) y menor a 27,5 s ( $2,5 \times 1 \times 11$ ). El número total de paquetes perdidos se calcula basado en la frecuencia de cada tipo de fallo. En consecuencia, el porcentaje total de la pérdida de paquetes se calcula como el cociente entre el número total de paquetes perdidos y el número de paquetes enviados.



**Figura 11.** Módulo 45 Tipo de Fallos en el envío de datos

En la Figura 11 se observa que el mayor tipo de fallo presentado es el fallo 2, que se presentó en la carga y descarga del producto, debido a la separación prolongada del concentrador y el



módulo obteniendo mayor demora en la comunicación que el tiempo de frecuencia de muestreo.

En la Tabla 1 se presenta la relación de los módulos utilizados en los dos ensayos para el porcentaje de datos perdidos. El tiempo del ensayo fue el mismo para todos los módulos. Según la frecuencia de muestreo y el tiempo de comunicación entre el concentrador y los módulos y restando un pequeño porcentaje debido a la fluctuación, el número de datos teóricos enviados por los módulos durante el ensayo de transporte refrigerado debería ser en promedio 1100, y durante el ensayo en la cámara fría 2200.

El módulo 14 en el ensayo en cámara fría presentó un fallo, por lo cual no pudo establecer comunicación. Con el porcentaje de datos perdidos, es necesario observar el comportamiento de los sensores en relación a las histéresis con el fin de obtener una configuración para la calibración de los mismos

**Tabla 1.** Número de paquetes de información enviados y porcentaje de perdidos en transporte y en la cámara frigorífica.

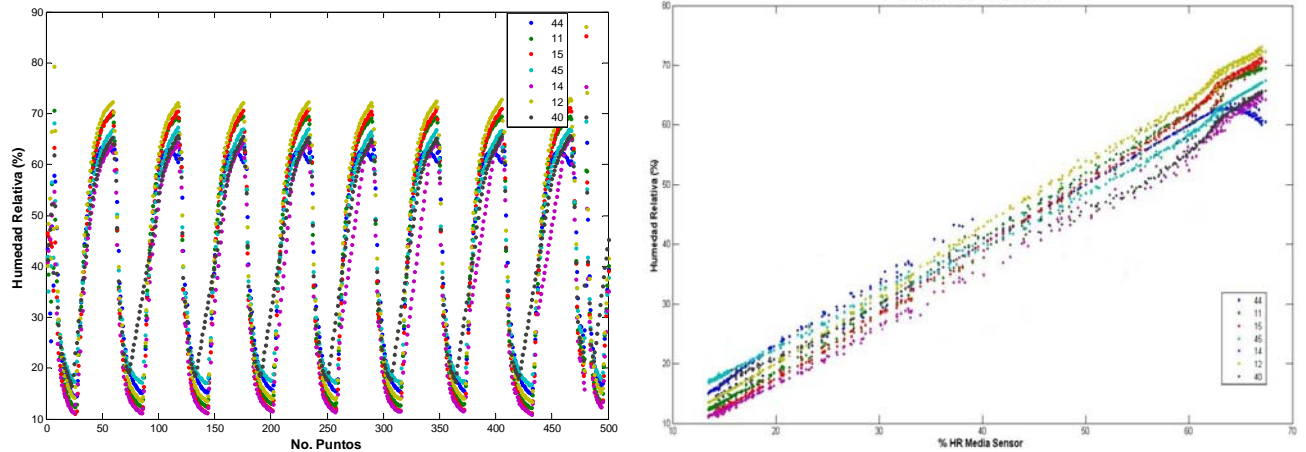
Módulo	Ubicación	TRANSPORTE REFRIGERADO			CÁMARA FRÍA(UPM)		
		Datos teóricamente a enviar	Datos Recibidos	Datos Perdidos (%)	Datos teóricamente a enviar	Datos Recibidos	Datos Perdidos (%)
44	Caja	1000	741	25.9	2516	2486	1.19
99	Caja	1105	1066	3.53	2332	2283	2.10
98	Caja	1171	1035	11.61	2522	2482	1.59
45	Caja	1029	892	13.31	2162	2071	4.21
40	Caja	523	500	4.40	2182	2114	3.12
16	Bolsa	1160	1033	10.95	331	329	0.60
2	Bolsa	1125	1018	9.51	2386	2351	1.47
14	Bolsa	1301	1258	3.31	0	0	N.A.
12	Bolsa	1112	1021	8.18	2375	2334	1.73

El resultado más relevante en este punto es que se detecta un mayor porcentaje de paquetes perdidos en transporte que en la cámara fría, si bien los valores resultan aceptable (en general inferior al 15 %)

### 3.3 Grafico de Histéresis de sensores Nlaza

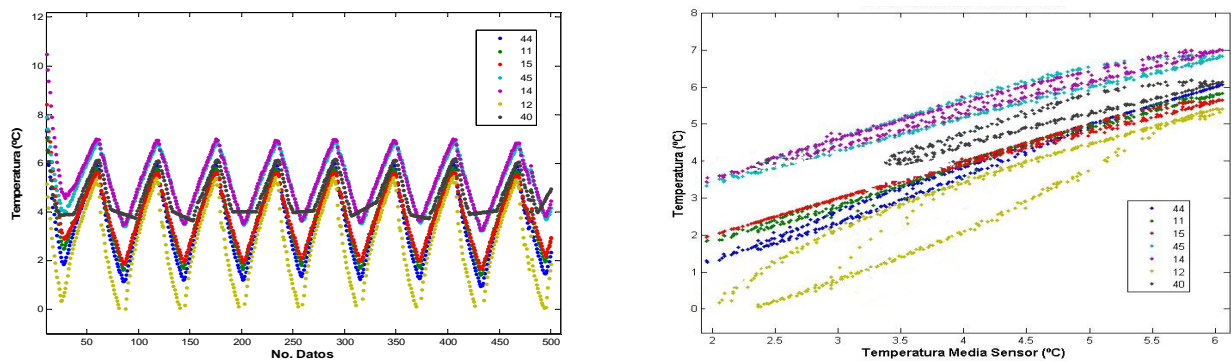
Para realizar el análisis de histéresis se calculó la media de los datos obtenidos en cada sensor para la temperatura y humedad relativa, con el fin de conocer la histéresis. Un funcionamiento óptimo en los ciclos de refrigeración sería aquel en el que la acción y la reacción del sensor discurrieran por la misma trayectoria.

En nuestro caso el ensayo realizado en la cámara frigorífica se ciñe a los ciclos de refrigeración donde aumenta y disminuye la temperatura en ciclos repetitivos con  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  para temperatura y  $\pm 60\%$  de humedad relativa (ver figuras 12 y 13, lado izquierdo). Para la representación de la histéresis en dichas figuras lado derecho se constituye con el valor de la mediana de los sensores en cada instante vs. el valor obtenido de cada sensor de temperatura y humedad relativa respectivamente; cada color representa un sensor. Además resulta imprescindible interpolar la respuesta de los sensores para una misma base de tiempos de manera que resulten comparables.



**Figura 12.** Sensor %Humedad Relativa datos en bruto (izquierda) Grafico Histéresis (derecha)

El resultado más relevante en relación a la respuesta de los sensores es que a pesar de disponer de una calibración individual en fábrica la respuesta dista de ser idéntica observándose diferencias tanto de exactitud como de histéresis que cabría achacar al hecho de que estos elementos han de ser soldados a la placa de los módulos de transmisión.



**Figura 13.** Sensor Temperatura datos en bruto (izquierda) Grafico Histéresis (derecha)

#### 4. CONCLUSIONES

La monitorización del transporte refrigerado en un solo punto del camión no es suficiente para asegurar las condiciones óptimas de conservación del producto, ya que como se observó en este estudio en una misma caja se pueden presentar grandes diferencias entre el producto envasado y la temperatura exterior. La adaptación de un sistema de control constante en varios puntos y en tiempo real permitirán realizar una corrección del sistema de refrigerado, lo cual permitirá que el producto permanezca dentro de los rangos establecidos para su conservación y sostenimiento de la calidad.

Con respecto a los módulos Nlaza es necesario, se analizar los datos más a fondo, evaluando la afectación de las diferentes variables presentadas en el ensayo para el funcionamiento y recepción de datos en la sensórica, con el fin de mejorar su configuración y adaptación a las variables que se desean seguir y controlar en el transporte refrigerado.

Es claro que en los momentos de carga y descarga se pierde una cantidad relevante de datos, ya que el porcentaje de datos perdidos de la cámara fría con respecto al transporte refrigerado es menor. Sin embargo, también se detectan pérdidas esporádicas de paquetes de información tal y como se muestra en las Figuras 6 y 7. Por otra parte, estamos revisando todos los procedimientos de cálculo de paquetes enviados y recibidos, buscando causas de pérdida de datos.

Es posible realizar la comunicación de los módulos Nlaza y obtener datos durante un transporte refrigerado, siendo por tanto los módulos Nlaza, una herramienta factible de utilizar en transportes refrigerados, ya que realizan un registro continuo de la información del producto a lo largo de la operación.

La supervisión multidistribuida debe necesariamente basarse en una fiabilidad inequívoca de los sensores. A día de hoy ni siquiera los sensores de mayor fiabilidad pueden garantizar la ausencia de sesgos en las medidas. Por tanto es imprescindible establecer unos protocolos de trazabilidad de las calibraciones y es necesario establecer los niveles de histéresis en la señal y las características dinámicas en términos de tiempo de respuesta.

La incorporación de modelos de estimación de procesos como la formación de hielo en los tejidos puede ser fundamental a la hora de establecer niveles de alarma en los sistemas de seguimiento.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen la financiación del presente trabajo al MICINN a través de los proyectos nacionales AGL2008-05666-C02-01 *MULTIHORT* y AGL2008-05267-C03-03 SmartQC, y al MITYC y al FEDER a través del proyecto TSI-020100-2009-0851 CLARISA del plan Avanza 2.

Los autores agradecen a la empresa *KERNEL EXPORT S.L.* por proporcionar el material para la investigación.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

HD Chang, LC Tao. (1981) Correlations of Enthalpies of Food Systems. *Journal of Food Science* 46: 1493-1497.

James, S. J., James, C., & Evans, J. A. (2006). Modelling of food transportation systems – a review. *International Journal of Refrigeration*, 29(6), 947-957.

Laguerre, O., Ben Aissa, M. F., & Flick, D. (2008). Methodology of temperature prediction in an insulated container equipped with PCM. *International Journal of Refrigeration*, 31(6), 1063-1072.

Rodríguez-Bermejo, J., Barreiro, P., Robla, J. I., & Ruiz-García, L. (2007). Thermal study of a transport container. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 517-527.

Ruiz-Altisent, M., Ruiz-Garcia, L., Moreda, G. P., Lu, R., Hernandez-Sanchez, N., Correa, E. C., et al. (2010). Sensors for product characterization and quality of specialty crops—A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(2), 176-194.

Ruiz-Garcia, L.; Lunadei, L.; Barreiro, P.; Robla, I. (2009) A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. *Sensors*, 9, 4728-4750.

Ruiz-Garcia, L., Barreiro, P., & Robla, J. I. (2008). Performance of ZigBee-based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 405-415.

Sun, Da-Wen (editor) (2006). *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging*. CRC Taylor&Francis.